

Erkka Virtanen

SUUNNITTELUTIEDON UUSIOKÄYTÖN MENETEL- MIEN VERTAILUA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Erkka Virtanen: Suunnittelutiedon uusiokäytön menetelmien vertailua
(Comparison of methods for creating and using design rationale)
Kandidaatintyö, 26 sivua
Tampereen yliopisto
Konetekniikan kandidaatin tutkintoohjelma
Toukokuu 2019

Suunnitteluprojekteissa syntyy ja hyödynnetään suuria määriä suunnittelun perusteluihin liittyvää tietoa. Tässä työssä tutustuttiin suunnittelutiedonhallintaan tarkoitettuihin järjestelmiin. Ohjelmistojen toimintaan perehdyttiin selvittämällä suunnittelutiedon uusiokäytön tavoitteita. Tavoitteiden avulla selvitettiin mitä hyviä ja huonoja puolia suunnittelutiedon uusiokäyttö tuo suunnittelijoille, projekteille sekä organisaatioille, missä suunnittelutiedonhallintajärjestelmiä hyödynnetään. Suunnittelutiedon hallintajärjestelmien toimintaa selvitettiin tutustumalla tiedonkeräys ja esitysmenetelmiin, sekä teoreettisiin malleihin, joilla suunnittelutietoa tallennetaan järjestelmällisesti. Eri menetelmiä kuvattiin ja verrattiin keskenään. Lopuksi arvioitiin eri metodien soveltuvuutta erilaisiin suunnittelutehtäviin.

Tutkimus suoritettiin kirjallisuustutkimuksena. Tiedonlähteinä käytettiin pääasiassa vertaisarvioituja lehtiartikkeleita mahdollisimman tuoreen tiedon takaamiseksi. Lisäksi hyödynnettiin kirjoja, sekä muistioita teoreettisten mallien kuvaamiseen.

Tiedon esittäminen jakautuu neljään pääosaan. Ensimmäisessä esiteltiin suunnittelutiedon yleisiä tavoitteita, ongelmia sekä hyötyjä. Suurin osa ongelmista keskittyi ajankäyttöön tai tiedon virheelliseen tallennukseen, ymmärrykseen tai säilytykseen. Hyödyt keskittyivät pääasiassa suunnitteluprosessin nopeutumiseen ja kustannuksiin. Toisessa osiossa selvitettiin tiedon keräys ja esittelymenetelmiä. Tietoa on monessa paikassa ja sen keräämiseen on useita eri tapoja. Tiedon esittäminen keskittyy pääasiassa erilaisiin kuvaajiin, joista on nopeasti saatavissa yleiskuva ongelman luonteesta ja ratkaisuperusteista. Kolmannessa osassa tekstiä kuvattiin eri tiedonhallinta menetelmiä ja verrattiin systeemien ominaisuuksia toisiinsa. Viimeisessä osassa tekstiä arvioitiin menetelmien soveltuvuutta erilaisiin suunnittelutehtäviin ja kerättiin yhteen suunnittelutiedon uusiokäytön suurimmat hyödyt ja haitat.

Lopputuloksena voidaan todeta, että suunnittelutiedon uusiokäyttö suosii modulaarista suunnittelua pitkällä aikavälillä. Hyödyt ovat pääosin suunnittelutyön nopeutuminen ja haitat liittyvät pääosin vanhan suunnittelutiedon huolimattomaan tai väärään käyttöön. Suurin osa suunnittelutiedon uusiokäyttöjärjestelmistä vaatii myös merkittäviä panostuksia suunnitteluorganisaation puolelta. Menetelmien vertailun perusteella voi myös todeta, että suunnittelutiedon kokonaisvaltaiseen hallintaan ei vielä ole ratkaisuja saatavilla, mutta suunnitteluprosessin esittämiseen ja tallentamiseen on olemassa toimivia ratkaisuja.

Avainsanat: suunnittelutieto, suunnittelutiedon perustelut, suunnitteluratkaisut, tiedonhallinta

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. SUUNNITTELUTIEDON UUSIOKÄYTÖN TAVOITTEET	3
2.1 Suunnittelun uusiokäytön hyötyjä	4
2.2 Suunnittelun uusiokäytön ongelmia	5
3. SUUNNITTELUTIEDON KERÄÄMISEN JA ESITTÄMISEN MENETELMIÄ	8
3.1 Tiedon keruu- ja esitystapoja	8
3.2 Argumentaatiopohjaisen tiedonesityksen malleja	10
4. MENETELMIEN VERTAILUA	14
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	23
LÄHTEET	26

1. JOHDANTO

Vuosittain luodaan paljon suunnittelutietoa monien eri yritysten toimesta. Suunnittelun tavoitteena on yleensä luoda tai ylläpitää arvoa yrityksen tuottamille artefakteille. Suunnittelun perusteluita (design rationale) tallennetaan monilla tavoilla sekä lakissääteisistä, että kilpailullisista syistä (Gunduz & Yetisir 2018). Suunnitteludokumentaatioon tallennetaan yleensä myös tietoa vaihtoehtoisista ratkaisuista ja niiden vaikutuksesta artefaktin muihin ominaisuuksiin (Li et al. 2014). Erityisesti mekaanisen ja sähkösuunnittelun aloilla dokumentaation tallennuksesta, luonnista ja käsittelystä vastaa elinkaarihallinta (PLM) järjestelmät. Samoissa järjestelmissä on myös usein tietoa huoltoon, käyttöön ja hävittämiseen liittyen. Elinkaarihallintajärjestelmiin tallennettua tietoa voidaan hyödyntää tuotekehityksessä artefaktiin kohdistuvien vaatimusten sekä toiminnan osalta. Vaikka tietoa tallennetaan paljon, suurin osa kaikkein innovatiivisimmista ideoista ei koskaan päädy tuotantoon. (Brunsman & Wilkes 2009) Kilpailu ajaa yrityksiä etsimään tehokkaampia eli halvempia ja nopeampia suunnitteluprosesseja kilpailuetua tavoitellessa (Gunduz & Yetisir 2018). Yksi tapa kilpailuedun nostoon on valmiiden innovaatioiden, ideoiden sekä vanhojen artefaktien hyödyntäminen suunnitteluprosessin osana. Bai et al. (2010) mukaan tiedon uudelleenkäyttö järjestelmiä on olemassa jonkin verran, mutta lähes kaikki keskittyvät kokonaisten projektien uudelleenkäyttöön, eikä esimerkiksi CAD-mallien osittaiseen hyödyntämiseen.

Medeiros et al. (2008) mukaan suunnittelulle tai suunnittelutiedolle ei ole yksiselitteistä määritelmää. Jotta aihetta pystyisi käsittelemään, otetaan tässä työssä käyttöön Bracewell et al. (2009) mukainen näkökulma, joka määrittelee suunnittelun tiedonkäsittelyksi, jossa ensin tunnistetaan aiheeseen liittyvästä tiedosta ongelmia sekä alaongelmia, joita sitten ratkaistaan suunnittelu ryhmän jäsenten tiedoilla ja taidoilla. Suunnitteluprosessin lopputuloksena saadaan käyttökelpoinen artefakti. Tässä työssä keskitytään vanhojen projektien suunnitteludokumentaation hyödyntämiseen (design reuse) suunnittelutyön tukena. Erityisesti tarkastelussa on menetelmät, joilla tietoa käsitellään ja tuotetaan. Ball et al. (2001) mukaan suunnittelutietoa yritetään usein hyödyntää, mutta suunnittelutiedon hyödyntäminen ei onnistu kovin usein halutulla tavalla. Merkittäviä tekijöitä suunnittelutiedon uudelleenkäytön esteenä ovat tiedonkäsittelyyn kuluva aika, sekä useimpien järjestelmien tehokkaaseen hyödyntämiseen liittyvän tiedon hallitseminen. Tämän takia

järjestelmiä ei ole käytössä niin paljoa, kuin ehkä on tarvetta. (Liang et al. 2012) Menetelmiä kannattaakin arvioida käyttöön kuluvan ajan ja helppouden näkökulmasta. Suunnittelutiedon tehokasta hyödyntämistä estää myös suunnitteluryhmän ihmisten erilaiset koulutus- ja osaamistaustat, jotka aiheuttavat ongelmia tiedon kommunikoinnissa ja perusteluiden ymmärtämisessä.

Tämän työn luvussa 2 käydään ensin läpi yleisiä ehtoja ja tavoitteita suunnittelutiedon uusiokäytölle. Alaluvussa 2.1 käydään läpi suunnittelutiedon uusiokäytön yleisiä hyötyjä ja alaluvussa 2.2 yleisiä ongelmia. Luvussa 3 käydään ensin yleisesti läpi, millaisia vaatimuksia suunnittelun perustelusysteemille on organisaation ja yksittäisen suunnittelijan näkökulmasta. Alaluvussa 3.1 käydään läpi erilaisia sovelluksia ja tapoja, joilla tietoa kerätään ja esitetään erilaisissa systeemeissä. Kappaleessa 3.2 käydään läpi yksityiskohtaisemmin, miten erilaiset teoreettiset tietomallit tallentavat ja esittävät suunnittelutietoa. Luvussa 4 esitellään ja vertaillaan suunnittelutiedonkäsittelyjärjestelmiä. Luvussa 5 arvioidaan eri tiedonkäsittelymetodien soveltuvuutta erilaisiin suunnittelutehtäviin.

2. SUUNNITTELUTIEDON UUSIOKÄYTÖN TAVOITTEET

Suunnittelu voidaan käsittää tiedonkäsittelyksi (Bracewell et al. 2009). Suunnittelu voidaan tiedonkäsittelyn kannalta jakaa neljään päävaiheeseen: tiedon keräämiseen, tiedon tallentamiseen, tiedon vertailuun ja tiedon esittämiseen. Suunnitteluprosessiin osallistuu monia eri toimijoita, mikä aiheuttaa monenlaisia tarpeita ja tavoitteita suunnittelun dokumentaatiota ja toteuttamista kohtaan. Koska suunnittelutyön tuloksena halutaan valmis tuote, on suunnittelu tasapainottelua näiden vaatimusten välillä (Ettlie & Kubarek 2008). Tässä osiossa käydään läpi suunnittelun uusiokäytön yleisimpiä tavoitteita, sekä vaatimuksia hyvälle suunnittelutiedon uusiokäyttösysteemille.

Kaikkein eniten suunnittelutyön tuloksista hyötyy yritys tai yhteisö, jolle suunnittelutyötä tehdään. Koska suunnittelutyötä itsessään ei yleensä pysty myymään loppuasiakkaalle, on yrityksen näkökulmasta tärkeää yrittää minimoida suunnittelukustannuksia. Lisäarvoa yrityksen tuotteille antaa tuotteiden hyvä yhteensopivuus toisten tuotteiden kanssa. Ballin et al. (2001) mukaan yhteensopivuutta parannetaan yrityksen sisäisillä suunnitteluohjeilla. Suunnittelun uudelleenkäyttö mahdollistaa suoraan jo suunnitellun ratkaisun hyödyntämisen uudessa tuotteessa. Toisaalta perustelut suunnittelussa tehdyille ratkaisuille ovat oikeastaan tärkeämpiä kuin varsinaiset piirustukset, mikä lisää suunnitteludokumentation tarkkuus- ja selkeysvaatimuksia. (Ball et al. 2001)

Suunnittelijan kannalta suunnitteludokumentation tärkeimpiä ominaisuuksia ovat tiedon selkeä esitys sekä tiedon tehokas löytäminen. Mitä enemmän aikaa suunnittelija käyttää sopivan tiedon löytämiseen, sitä vähemmän suunnittelijalla on aikaa varsinaisen suunnittelutyön tekemiseen. Zhangin ja Lin (2016) mukaan yksi suurimpia ongelmia projekteissa on jo opitun tiedon tehokas hyödyntäminen. Suunnittelijaryhmissä on paljon ihmisiä erilaisilla koulutus- ja osaamistaustoilla, mikä voi tehdä asioiden ymmärtämisestä hankalaa. Varsinkin monimutkaisissa projekteissa tehdyt ratkaisut ovat usein monen eri tekijän kokonaisvaikutusten summa, mikä vaatii perusteluilta hyvin dokumentoituja ja selkeitä perusteluja väärinymmärrysten vähentämiseksi. Myös tiedon tallentaminen hankaloituu monimutkaisuuden kasvaessa. (Zhang & Li 2016) Suunnittelijoiden kannalta on myös tärkeää, että kaikki suunnitteluryhmän jäsenet ovat tietoisia siitä, mitä projektissa on tarkoitus saavuttaa. Määriteltujen tavoitteiden avulla pyritään keksimään sarja ratkaisuja, joiden vaikutusta lopputuotteeseen sekä muihin ratkaisuihin yritetään arvioida op-

timaalisen kokonaisratkaisun saavuttamiseksi. Samalla suunnittelijat pyrkivät arvioimaan omaa toimintaansa, sekä tehtyjen ratkaisujen kokonaistehokkuutta. (Sage & Armstrong 2000) Suunnittelijoiden toimintaa ja tiedonvälitystä voidaan ohjata sopivalla suunnitteludokumentaatiolla.

Suunnitteludokumentaatiota rajoittavat myös suunnittelufirman ja -ryhmän ulkopuoliset tekijät. Brunsmannin ja Wilkesin (2009) mukaan merkittävä vaatimus suunnitteludokumentaation ominaisuuksille aiheutuu tiedon tallennusjärjestelyistä. Tietoa on hyvin monessa erilaisessa muodossa, kuten CAD-malleissa, muistioissa, tekstidokumenteissa sekä piirustuksissa. Suunnitteludokumentaatiojärjestelmän on kyettävä tallentamaan, esittämään sekä etsimään tuotteisiin liittyviä tietoja. Ongelmia aiheutuu myös ajan myötä perustelujen muutoksista. Esimerkiksi suunnitteluohjeistus, jota on käytetty jonkin ratkaisun perusteena, saattaa kadota tai poistua käytöstä. Tällöin on ensiarvoisen tärkeää, että myös perusteluna käytettyihin dokumentteihin on järjestelmässä jonkinlainen viittaus. Osa ratkaisuksista voi olla valittu jonkin talon ulkopuolisen standardin mukaisesti. Tällöin myös talon ulkopuolisista dokumenteista täytyy olla versio saatavilla suunnitteludokumentaation tulkitsemiseksi. (Brunsmann & Wilkes 2009)

2.1 Suunnittelun uusiokäytön hyötyjä

Suunnittelutiedon uusiokäytöllä voidaan tehostaa suunnitteluprosessia monin eri tavoin. Tiedon tallennus helpottuu, ja tietoa voidaan paremmin esittää muille toimijoille. Voidaan tarkistella suunnittelun tavoitteiden toteutumista sekä vähentää lähes samanlaisten suunnitteluratkaisujen määrää valmistuskustannusten laskemiseksi.

Gunduzin ja Yetisirin (2018) mukaan suunnitteluprosessin alussa artefaktiin liittyvät vaatimukset ja tarvittavat ominaisuudet ovat heikosti tiedossa. Vanhan ratkaisun uudelleenkäyttö antaa tietoa kyseessä olevan osan suunnittelun aikana kohdatuista ongelmista sekä tarjoaa tietoa, miten osa on toiminut oikeassa käytössä. Tietoa saadaan myös edellisen suunnitteluprosessin aikana tehdyistä virheistä sekä suunnittelukohteen erityispiirteistä, joita on muuten vaikea havaita. (Gunduz & Yetisir 2018) Kokemusperäinen tieto katoaa usein projektin loputtua henkilöstön vaihtuessa. Hyvin tehty suunnitteludokumentaatio myös vähentää hiljaisen tiedon katoamista. (Bracewell et al. 2009; Gunduz & Yetisir 2018)

Brunsmannin ja Wilkesin (2009) mukaan tärkeä osa hyvää suunnitteluprosessia on insinöörisosastojen kommunikointi keskenään. Suunnitteludokumentaatiota jakamalla yksi

suunnitteluosasto kykenee tehokkaasti välittämään suunnitteluratkaisun perusteluihin liittyvän tiedon toisille suunnitteluosastoille tai suunnitteluryhmille. Suunnittelun uudelleenkäytön etuna on mahdollisuus lähettää dokumentaatiota heti projektin kaikille eri osapuolille, mikä mahdollistaa suunnitteluratkaisujen vaatimusten huomioonottoa jo suunnittelun alkuvaiheessa. (Brunsmann & Wilkes 2009) Uusiokäyttö mahdollistaa myös yritysten sisäisten standardiratkaisujen lähettämisen alihankintana järjestetyille suunnitteluosastoille, mikä helpottaa kommunikaatiota pääsuunnittelijan ja alihankkijoiden välillä (Bracewell et al. 2009). Yksittäisen suunnitteluryhmän sisällä suunnittelun uusiokäytöllä voidaan paremmin ohjata henkilöresursseja tärkeämpiin osiin projektia, mikä parantaa suunnitteluryhmien tehokkuutta, vähentää suunnittelukustannuksia sekä usein tarjoaa parempia kokonaisratkaisuja samassa suunnitteluajassa (Zhang & Li 2016). Uusiokäyttö auttaa myös uusien suunnittelijoiden tutustuttamista suunnitteluryhmän tapoihin, mikä nopeuttaa uuden suunnittelijan kouluttamista tehtäviinsä (Ball et al. 2001).

Ratkaisun hyvyttä arvioidessa yleensä verrataan ratkaisun ominaisuuksia artefaktin toimintaan asetettuihin vaatimuksiin. Bain et al. (2010) mukaan hyvä suunnittelutiedonkäsittelyjärjestelmä mahdollistaa tiedon hakemisen epämääräisillä hakukriteereillä. Huonimpien halutulosten avulla on mahdollista rajata suunnittelukriteerejä tarkemmiksi. (Bai et al. 2010) Ballin et al. (2001) mukaan suunnitteludokumentaatiota voidaan käyttää tehokkaasti vaatimusten määrittämiseen. Vaikka vaatimukset eivät olisikaan heti suunnittelun alussa tarkoin selvillä, tarjoavat vanhat suunnitteludokumentit tietoa ratkaisuun kohdistuviin vaatimuksiin sekä erityispiirteisiin. Perusteluargumentaation ja suunnitteluratkaisujen vaikutusarvioiden perusteella voidaan nopeasti verrata erilaisten toteutusvaihtoehtojen vaikutusta lopputuotteeseen, sekä muihin artefaktissa esiintyviin ratkaisuihin. Myös suunnittelu kriteerien muutosten vaikutusta on mahdollista arvioida tehokkaasti. (Ball et al. 2001)

2.2 Suunnittelun uusiokäytön ongelmia

Suunnittelun uusiokäytöllä on monenlaisia haittapuolia. Tässä osiossa käsitellään suunnittelutiedon uusiokäyttöön liittyviä yleisimpiä ongelmia artefaktin, suunnitteluorganisaation, suunnittelijoiden, sekä organisaatiosta riippumattomien syiden näkökulmasta.

Huonosti sovellettuna suunnittelutiedon uusiokäyttö voi aiheuttaa monia ongelmia. Esimerkiksi lopputuotteelta halutut ominaisuudet voivat kärsiä (Ball et al. 2001; Ettlie & Kubarek 2008). Organisaatiotasolla suurien tietomäärien käsittely vaatii paljon aikaa ja rahaa (Liang et al. 2012). Suunnittelutiedon uudelleenkäyttöä hyödyntävät suunnittelijat

joutuvat käyttämään paljon aikaa suunnittelutietojärjestelmien oikeaoppiseen käyttöön (Ball et al. 2001). Lisäksi ajan kuluessa tallennettua tietoa katoaa ja vääristyy (Brunsman & Wilkes 2009).

Suunnittelutyön uudelleenkäyttö vaikuttaa lopputuotteeseen useilla tavoilla. Ettlien ja Kubarekin (2008) mukaan artefaktin loppukäyttäjän kokema tuotteen innovatiivisuus kärsii nopeasti uudelleenkäyttöasteen kasvaessa. Yksittäisen ratkaisun vaikutusta artefaktiin kokonaisuutena arvioitiin valmistuskustannusten perusteella. Tutkittu otos oli pieni, mutta tutkimuksen mukaan artefaktiin liittyvä innovatiivisuuden kokemus alkaa laskea, kun suunnittelun uudelleenkäyttöaste lähestyy 43 %. Pelkästään tuotantoon keskittyvillä yrityksillä vastaava luku oli 33 % koko artefaktista, mutta uudelleenkäyttöasteet vaihtelivat suuresti eri yritysten välillä. Suuren vaihtelun syyksi arvioitiin artefaktien sovelluskohdeiden tyyppien suuri vaihtelu. (Ettlie & Kubarek 2008) Suunnittelutiedon uusiokäyttö lisää suunnitteluvirheen mahdollisuutta erityisesti tilanteissa, joissa sovelluskohteen ja tiedonlähteenä toimivien ratkaisujen vaatimusten erot ovat huonosti tiedossa. Myös riski ymmärtää suunnittelukohteen erityisvaatimukset väärin kasvavat. (Gunduz & Yetisir 2018) Tiedonhakumenetelmät eivät useimmiten osaa ottaa tiedon kontekstia riittävästi huomioon. Koska perinteiset suunnittelun perustelu- ja luokittelutermit eivät ole riittävän ilmaisuvoimaisia, on hakutuloksista vaikea arvioida ratkaisun tyyppiä, rakenteita tai merkittävyyttä artefaktin kannalta. (Li et al. 2014)

Monissa suunnitteluorganisaatioissa on usein tiedon tallentamisen suhteen asenne, jonka mukaan kaikki tieto on aina tarpeellista. Kun tiedon käyttökohde unohtuu, kasvaa turhan tiedon talletuksen osuus suureksi, mikä lisää tallentamisen kustannuksia ja tekee merkittävän tiedon löytämisestä hankalaa. (Sage & Armstrong 2000, s.510) Suuriksi kasvaneita tietokantoja on kallista ja työlästä siirtää suunnittelutiedonhallintaratkaisuihin toiseen. Ongelmia aiheuttaa myös eri ihmisten erilaiset tulkinnat samasta tiedosta, mikä johtaa usein ristiriitaisuuksiin tietokantojen sisällä. (Liang et al. 2012) de Medeirosin ja Schwaben (2008) mukaan suunnittelutiedon uusiokäyttöä ei suosita kovien paljoa uusiokäyttöjärjestelmien käyttöön kuluvan ajan takia. Oikeaoppinen käyttö vaatii koulutusta ja sopimista yksittäisten ratkaisujen kuvaamisen suhteen. Koska ylimääräistä aikaa ei haluta yleensä käyttää, tulee monilla suunnittelun uusiokäyttömeneillä dokumentaatiosta epäjohtonmukaista tai erilaista muihin projekteihin verrattua. Epäjohtonmukaista tai ristiriitaista dokumentaatiota on hankalaa hyödyntää suunnittelutyössä systemaattisesti. (de Medeiros & Schwabe 2008)

Suunnittelun uusiokäyttö vie eniten aikaa suunnittelijoilta, jotka luovat suunnitteludokumentaatiota, sekä etsivät suunnitteludokumentatioista tietoa vanhoista ratkaisuksista.

Koska suunnittelijoiden työnkuvaan kuuluu tiedonhaun ja tallentamisen lisäksi myös varsinaista suunnittelutyötä ja laskentaa, ei ylimääräinen ajankäyttö ole yksittäisten suunnittelijoiden kannalta toivottavaa. (Liang et al. 2012) Tiedonhakutoiminnot usein myös tuovat esille paljon tietotoa, mikä ei liity haettavaan asiaan (Bai et al. 2010). Suurin osa hyödyllisistä konsepteista ja ideoista ei ole helposti luokiteltavissa tietojärjestelmiin. Tiedon tallentamista ei helpota suunnittelijoiden yleinen haluttomuus keskeyttää työtään ajatusprosessin tallentamiseksi. Suunnittelijoilla on usein vaikeuksia muuntaa perustelujaan tietojärjestelmään sopivaan muotoon, mikä yhdessä ylimääräisten keskeytysten kanssa aiheuttaa väsymystä suunnitteludokumentaation tekoa kohtaa. Mielenkiinnon vähentyessä suunnitteludokumentaatiota kohtaan laskee dokumentaation yleistä tasoa, mikä johtaa dokumentaation huonompaan uudelleenkäyttöarvoon. Suunnittelijoihin kohdistuvat ajankäyttöpaineet myös yleensä sulkevat vaihtoehdoista koulutuksen tiedon indeksointiin ja lajitteluun liittyen koulutuksen aiheuttamien kustannusten vuoksi. (Ball et al. 2001) Sosiaalisen ympäristön aiheuttamat vaatimukset myös kohdistavat suunnittelijoihin paineita käyttää jotakin tiettyä ratkaisua. Sosiaalisista syistä käytetyt ratkaisut eivät välttämättä usein ota kaikkia faktoja huomioon, mikä johtaa artefaktin toimivuuden heikkenemiseen. (Sage & Armstrong 2000, s. 511 – 512)

Ajan kuluminen on myös suuri ongelma kaikenlaisille tiedontallennusjärjestelmille, joihin myös suunnittelun uusiokäyttöjärjestelmät lukeutuvat. Brunsmannin ja Wilkesin (2009) mukaan tieto on hyödyllistä vain, jos kaikki tarpeellinen tieto on saatavilla. Tietoa katoaa ja vääristyy unohtamisen ja henkilökunnan vaihtumisen seurauksena. Tieto voi myös vanhentua, kun perusteluna käytetty suunnitteludokumentti muuttuu tai löydetään tarkempia tai muuten parempia ajatusmalleja, joilla käsitellä ongelmia. Tietoa häviää myös usein it-järjestelmien muuttuessa. (Brunsmann & Wilkes 2009) Tietojärjestelmien vaihtoa hankaloittaa tekstimuotoiset suunnitteludokumentit, joiden vaihteleva termistö on tietokoneelle vaikeaa ymmärtää. (Li et al. 2014) Tiedon sisäiset ristiriitaisuudet lisääntyvät ja tieto vääristyy, kun suuria tietokantoja siirretään järjestelmästä toiseen yksittäisten ihmisten toimesta.

3. SUUNNITTELUTIEDON KERÄÄMISEN JA ESITTÄMISEN MENETELMIÄ

Suunnittelutiedon uusiokäyttöä varten on kehitetty monia menetelmiä. Lähes jokaisessa suunnitteluprojektissa suunnittelija on itse vastuussa artefaktin ominaisuuksien ja vaatimusten oikeellisuudesta (de Medeiros & Schwabe 2008). Brunsmannin ja Wilkesin (2009) mukaan suunnittelutiedon uusiokäytössä kannattaa hyödyntää julkisia tiedonperustelumenetelmiä. Pelkästään tiedon keräämiseen ja esittelyyn keskittyvän organisaation materiaalista löytyy useimmiten perustelut ja kuvaukset tietojärjestelmässä käytetyistä luokitteluista ja kuvauksista. Dokumenttiversioiden välillä voi olla eroja siinä, miten joitakin yksittäisiä ominaisuuksia on merkitty suunnitteludokumentaatioon tai piirustuksiin. Yleiseen käyttöön tarkoitettujen järjestelmien eri versioiden väliset muutokset ovat todennäköisemmin hyvin dokumentoituja kuin organisaation itse käyttämissä ja ylläpitämissä dokumenteissa. Julkiset tietokannat mahdollistavat myös paremman toimivuuden muiden organisaatioiden luomien artefaktien kanssa. Paras esimerkki julkisista suunnittelutiedon lähteistä ovat erilaiset standardoimislaitokset ja niiden standardit. (Brunsmann & Wilkes 2009) Tässä osiossa käydään läpi esiteltujen suunnittelutiedon uusiokäyttömenetelmien hyödyntämiä tiedon keruu- ja esitystapoja, sekä teoreettisia pohjamalleja, joihin menetelmien tiedon tallennus perustuu.

3.1 Tiedon keruu- ja esitystapoja

Tässä osiossa käsitellään tapoja, joilla tietoa kerätään suunnitteluprosessin aikana. Osiossa esitellään tapoja, joita esiteltävät myöhemmin esiteltävät sovellutukset hyödyntävät, sekä muita yleisimpiä lähestymistapoja tiedon keräykseen.

Suunnittelutiedon uudelleenkäyttö on helpottunut huomattavasti tietokoneiden kehityttyä, koska tietokoneet mahdollistavat tiedon nopeamman löytämisen pienemmällä vaivalla suuristakin tietokannoista (Gunduz & Yetisir 2018). Sähköisen tietokannan luominen alkaa keräämällä suunnittelutietoa suunnitteluprosessin aikana sähköisiin tietokantoihin (Ball et al. 2001). Kerätty tietoa pyritään esittämään niin, että kyseessä olevan artefaktin erityispiirteet ovat selkeästi nähtävillä (Ettlie & Kubarek 2008). Järjestelmän

tyypin mukaan projektiin liittyvät tiedostot joko indeksoidaan suunnittelun perustelu-termien avulla tai linkitetään toisiinsa jonkin muun tiedoston avulla (Ball et al. 2001; Me-deiros et al. 2008; Li et al. 2014). Projektista luodaan jonkinlainen graafeja, tekstejä ja kuvia sisältävä esitys (Ball et al. 2001; Bai et al. 2010). Lopuksi projektin tiedot arkistoidaan myöhempää käyttöä varten.

Suunnitteluprosessi alkaa tiedon keräämisellä ja suunnittelutehtävään tutustumisella. Suunnittelun uusiokäytössä tiedon keruuvaihetta nopeutetaan tutustumalla vastaavansiin suunnitteluprojekteihin, joita on tehty jo aiemmin. Gunduzin ja Yetisirin (2018) mukaan tietokoneet mahdollistavat nopean tiedonhaun suuristakin tietomääristä. Tiedonhakukriteereinä voidaan käyttää erilaisia artefaktilta haluttuja ominaisuuksia. (Gunduz & Yetisir 2018) On kuitenkin tärkeää huomioida alkuperäisen tuotteen vaatimukset suhteessa uuden artefaktin vaatimiin ominaisuuksiin ja ratkaisuihin. Tietoa suunnitteluprojektista voidaan kerätä suunnitteluryhmän palaverista, sähköposteista ja puhelusta. Tieto syötetään järjestelmään ja voidaan visualisoida prosessin etenemistä ja tehtyjä ratkaisuja erilaisilla kaavioilla, kuvilla ja teksteillä. Myös yksittäisen ratkaisun asettamat vaatimukset muualle artefaktiin tulee ottaa huomioon. (Ball et al. 2001) Tiedon keruu voi keskittyä myös yksittäisiin piirteisiin cad-mallissa tai kokonaisten osien uusiokäyttöön. (Bai et al. 2010)

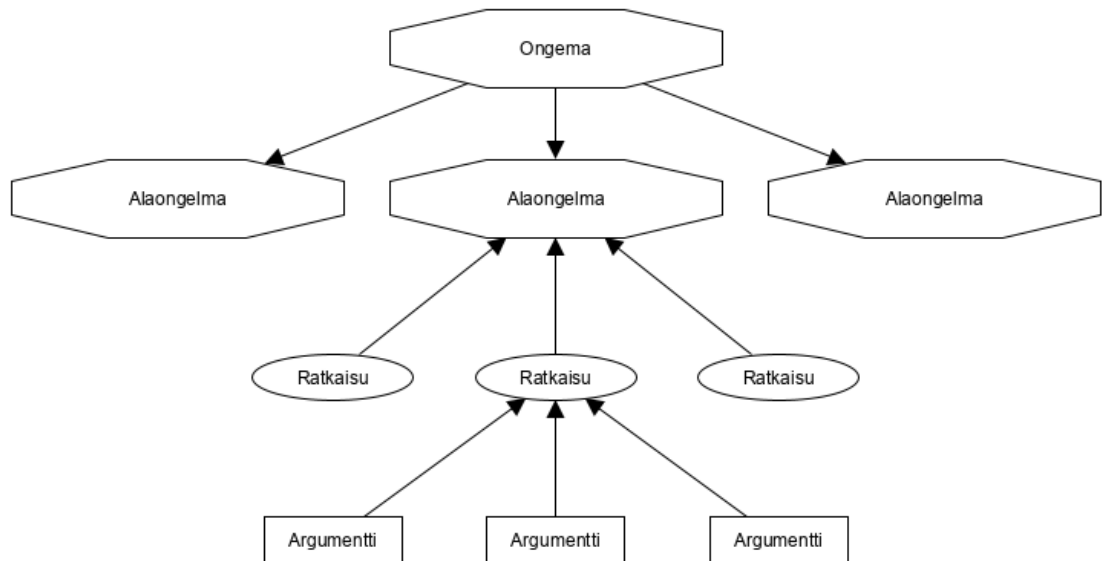
Tiedon havainnollinen ja tehokas esittäminen ovat tärkeitä osioita hyvässä suunnittelutiedon hyödyntämisjärjestelmässä. Hyvä suunnittelujärjestelmä auttaa kehittämään työn alla olevia suunniteltavia artefakteja niin palaverissa, kuin selvittämään lopullisen ratkaisun perusteluja helposti ymmärrettävässä ja sisäistettävässä muodossa suunnitteluprojektin jo loputtua. Hyvä esitysmuoto on myös sellainen, että se on helposti ymmärrettävissä mustavalkoisesta tulosteesta, joita voidaan jakaa palaverissa kaikille osallistujille. (Bracewell et al. 2009) Tiedonhallintajärjestelmien kannalta on eduksi, että järjestelmä ei muokkaa varsinaisia tiedostoja mahdollisten yhteensopivuusongelmien välttämiseksi. Eli järjestelmä indeksoi ja eittää tietoa omissa tiedostomuodoissaan mielellään vielä siten, että tietoa esittävät tiedostot ovat esitettävissä mahdollisimman yleisesti myös tiedonhallintajärjestelmän ulkopuolisilla ohjelmilla. (Liang et al. 2012) Hyvin toteutettu suunnitteludokumentaatio on myös tietokoneen kannalta helposti ymmärrettävä ja standardisoitu, jotta tietokannat olisivat helposti tietokonealgoritmien indeksoitavissa. (de Me-deiros & Schwabe 2008) Tehokaita suunnittelutiedon esitystapoja ovat erilaiset kuvaajat, kuten luurankograafi ja Reeb-graafi, tai erilaiset tyyppi-alalaji-tyyliset listaukset. (Bai et al. 2010)

Suunnittelutiedon uudelleenkäytön kannalta on tärkeää, että projektista tallennettavassa tiedossa on mukana kaikki ratkaisujen perustelujen kannalta olennainen tieto. Suunnittelutietoa verrataan käynnissä olevaan projektiin ja huomioidaan suunnittelukohteen vaatimusten eroja ennalta tehtyyn materiaaliin. (Ball et al. 2001) Tehokkaissa järjestelmissä tieto tallennetaan siten, että tietokone algoritmien on helppo indeksoida ja varastoida tietoa uudelleenkäyttöä varten. Dokumentaatiossa käytetyn termistön tulee olla johdonmukaista ja termien riippuvuussuhteita esitetään indeksointijärjestelmissä, jotka ovat joko erillisiä tietokantoja tai suunnittelutiedostoon lisättyjä. (Li et al. 2014) Osa järjestelmistä on mahdollistaa käytön kokonaisten projektien suunnittelutietojen perusteella ja jotkut keskittyvät enemmän yksittäisiin piirteisiin, alipiirteisiin tai ratkaisuihin. Suunnitteluorganisaation suosima uudelleenkäyttötapa määrää miten tietoa kannattaa tallentaa. (Ettlie & Kubarek 2008) Yleisessä uudelleenkäytössä voidaan käyttää hyväksi kokonainen osa, kuten sarana, ja piirrepohjaisessa uudelleenkäytössä hyödynnetään esim. cad-mallien yksittäisiä piirteitä, kuten rungon ulkomuotoa tai kiinnitysmekanismin geometriaa. Yksittäisten piirteiden vertailua voidaan toteuttaa yksinkertaistetuilla 3d-malleilla ja graafeilla, jotka ovat erillään varsinaisesta suunnitteludokumentaatiosta. (Bai et al. 2010)

3.2 Argumentaatiopohjaisen tiedonesityksen malleja

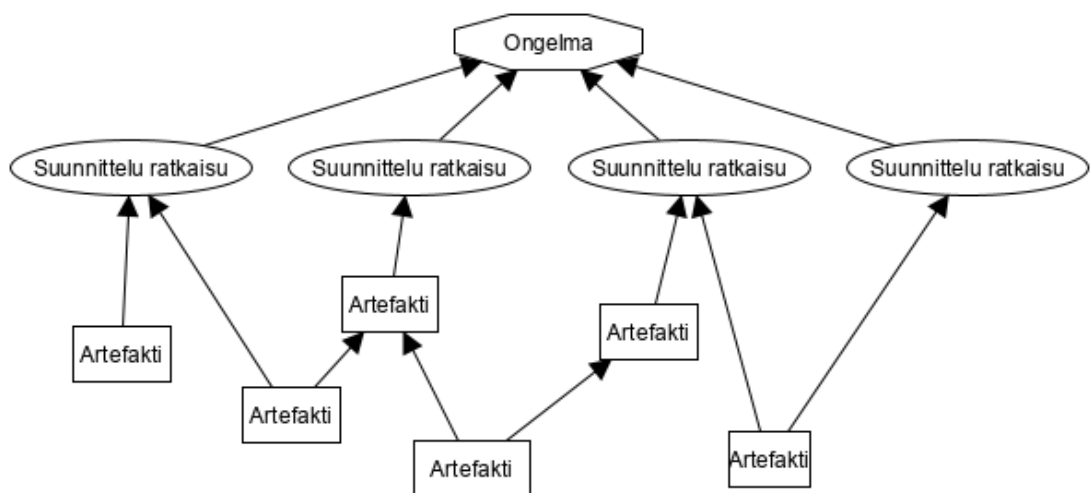
Tiedon selkeä esittäminen vaatii selkeää ja johdonmukaista sääntöjärjestelmää. Tässä osiossa käsitellään teoreettisia malleja, joiden pohjalle voidaan luoda tiedon esitysjärjestelmiä.

Koska suunnittelutiedon perusteludokumentaatiolla esitetään tietoa, joka on vaikeasti arvioida yksiselitteisesti, tehokkain esitystapa on argumentaatiotyylinen tietojärjestelmä. (Bracewell et al. 2009) Tiedon esitysjärjestelmiin vaikuttavat myös ajan kulumisen seurauksena tapahtuvat termistössä ja tutkimustiedossa tapahtuvat muutokset (Brunsmann & Wilkes 2009). Kun suunnittelutermistö on tarpeeksi johdonmukaista ja kuvaavaa, tietokonepohjaiset tiedonkäsittelyjärjestelmät kykenevät syöttämään tiedon tiedonhaun kannalta tehokkaisiin tietokantoihin (de Medeiros & Schwabe 2008). Erilaisia tiedonesitysjärjestelmiä onkin kehitetty paljon erilaisiin tiedonesityksen tarpeisiin (Ball et al. 2001; Liang et al. 2012; Li et al. 2014).



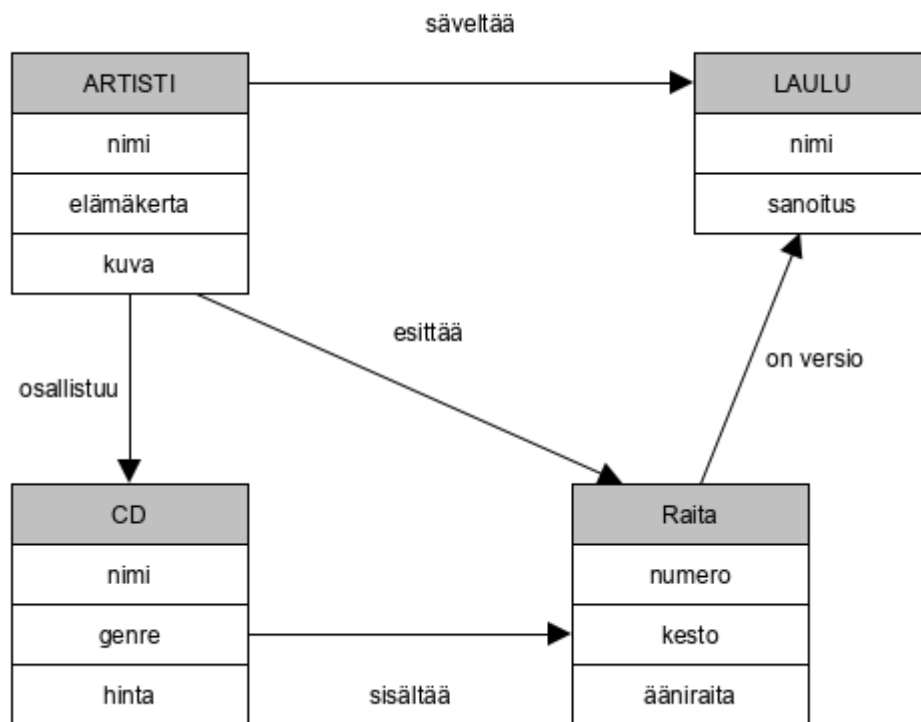
Kuva 1: IBIS-järjestelmä graafisesti esitettynä

Ensimmäinen ja siksi eniten käytetty pohja argumentaatiopohjaisille tiedonhallintajärjestelmille on IBIS (issue-based information system). Järjestelmää esitetään usein ajatuspuuna. (Bracewell et al. 2009) Järjestelmässä on kolme peruselementtiä. Ongelma määritellään kysymys-elementillä, joka voidaan jakaa alaongelmiin. Ongelmien ratkaisut ovat vastauselementtejä, joihin kartoitetaan kaikki ongelman vaihtoehtoiset ratkaisut. Ongelmien ratkaisuihin voi esittää argumenttielementtejä, jotka joko puoltavat tai vastustavat kyseistä ratkaisua. Uusia kysymys-elementtejä voidaan luoda ongelmien vastausten tai argumentaation perusteella. (Kunz & Rittel 1970; Bracewell et al. 2009)



Kuva 2: ISAL-järjestelmä graafisesti esitettynä (mukaillen Liang et al. 2012)

Suunnittelutiedon hallintajärjestelmän automatisointi helpottuu, kun käytetään suunnittelutiedon rakenteeseen liittyviä tiedon esitysmalleja. Liangin et al. (2012) soveltama ISAL (issue solution artifact layer) -menetelmä jakautuu kolmeen peruselementtiin. Ongelma kerroksessa on suunnittelukohteen vaatimusten määrittelemiä ongelmaelementtejä. Ratkaisu kerroksessa on suunniteltuja ratkaisuja ongelman ratkaisuun. Artefakti kerroksessa on ratkaisujen komponentteja, toteutustapoja sekä ominaisuuksia. (Liang et al. 2012)



Kuva 3: Visuaalinen esitys Kuaba mallin tietoluokista, luokkien sisältämästä tiedosta sekä luokkien välisistä suhteista (mukaillen de Medeiros & Schwabe 2008)

Toinen tiedonkäsittelyn näkökulmasta kehitelty suunnittelutiedon esitysjärjestelmä on Kuaba-malli. Kuaba-malli koostuu neljästä peruselementistä: luokista, ominaisuuksista, yhteyksistä ja rajoituksista. Ongelmalle annetaan luokka, jota ongelma käsittelee. Luokalla voi olla ominaisuuksia, kuten massa tai koko, ja rajoituksia, kuten tietty lämpötila-alue. Ratkaisuille ja suunnittelun aikana luoduille artefakteille luodaan vastaavanlaisia luokkia, joita sitten yhdistellään toisiinsa. Yhteyksillä voi olla ominaisuuksia, kuten toisensa vaativat ratkaisut, toisensa pois sulkevat ratkaisut, tai uusi versio jostakin aiemmin suunnitellusta artefaktista. Suunnitteluelementtejä luodaan suunnittelukohteen tarpeiden

mukaan niin paljon, että tieto on tarpeeksi tarkasti esiteltävissä. (de Medeiros & Schwabe 2008)

QOC (question, options criteria) malli perustuu kolmeen peruselementtiin. Ensin suunnitteluongelmista muodostetaan kysymyksiä. Sitten kysymyksiin luodaan ratkaisuvaihtoehtoja. Lopuksi kysymykselle määritetään kriteerejä, joiden avulla ratkaisuvaihtoehdoista valitaan paras. (McLean et al. 1991)

IBIS järjestelmän pohjalta on kehitelty myös monia muita malleja kuten gIBIS ja PHI (procedural hierarchy of issues) (Bracewell et al. 2009). Argumentaatiopohjaisten järjestelmien lisäksi on ehdotettu erilaisia CAD-malleihin perustuvaa mallien piirteiden vertailua, sekä yksittäisille artefakteille luotuja vertailutaulukkoja. Ominaisuuksien vertailu on verrattain yksinkertaista argumentaatioon nähden, mikä mahdollistaa tehokkaamman tiedonhaun tietokannan näkökulmasta. (Bai et al. 2010)

4. MENETELMIEN VERTAILUA

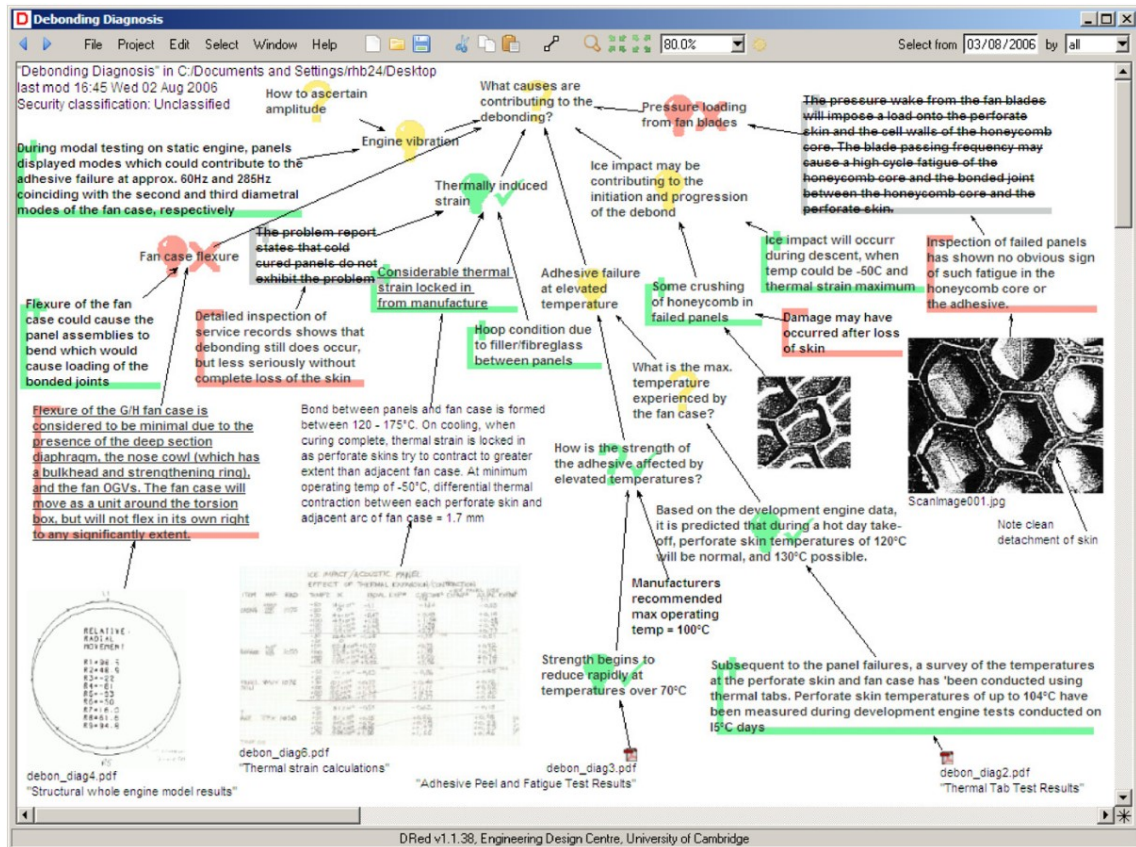
Suunnittelun uusiokäyttösystemin arviointi vaatii järjestelmien ominaisuuksien vertailua. Tiedonkäsittelyn päävaiheisiin, tiedon keräämiseen, tiedon esittämiseen sekä tiedon tallentamiseen on monia eri tapoja. Tässä osiossa esitellään suunnittelutiedon uusiokäyttöön tarkoitettujen ratkaisujen ominaisuuksia ja toimintaa.

Kuva 4: Desperado II ohjelmiston lysymysikkuna, jossa toteutetaan suurin osa suunnittelutyöstä (Ball et al. 2001)

Desperado II ohjelmisto on Desperado ohjelmiston yksinkertaistettu versio, joka toimii selaimessa erillisen ohjelmiston sijaan. Systemi perustuu projektikohtaisiin episodeihin, joissa luodaan kysymyksiä suunnitteluongelmista. Episodiin tallennetaan tieto projektin tyypistä, asiakkaasta ja tilanteesta. Kysymyksiin luodaan ratkaisuja, joihin voidaan liittää linkkejä cad-tiedostoihin tai muihin dokumentteihin. Ratkaisuja arvioidaan kriteereillä, joihin voi myös liittää dokumentaatiota. Kriteerien ja ratkaisujen välille luodaan yhteyksiä,

joiden perusteella valitaan paras ratkaisu. Ohjelmisto luo indeksointia hakutoimintoja varten automaattisesti syötettyjen tietojen perusteella. Järjestelmä osaa myös tarjota automaattisesti ratkaisuja ja kriteereitä aikaisemmista suunnitteluepisodeista, jos projektit ovat tyypiltään ja kysymyksiltään riittävän samanlaisia. (Ball et al. 2001)




























Kuaba lähestymistapaan perustuva tiedonhallintajärjestelmä on keskittynyt tiedon tallentamiseen tietokoneen näkökulmasta tehokkaalla tavalla. Systeemin toiminta on suunniteltu teoreettisella tasolla valmiiksi, mutta varsinaisia yksityiskohtia on menetelmästä esitelty hyvin vähän teoreettisen mallin toiminnan lisäksi. Suunnittelutiedon luokkarakenne sekä esitysmuoto on selitetty tarkasti, mutta toiminta on selitetty vain teoreettisella tasolla. (de Medeiros & Schwabe 2008)



Kuva 5: Ongelma-analyysi DRed-ohjelmassa (Bracewell et al. 2009)

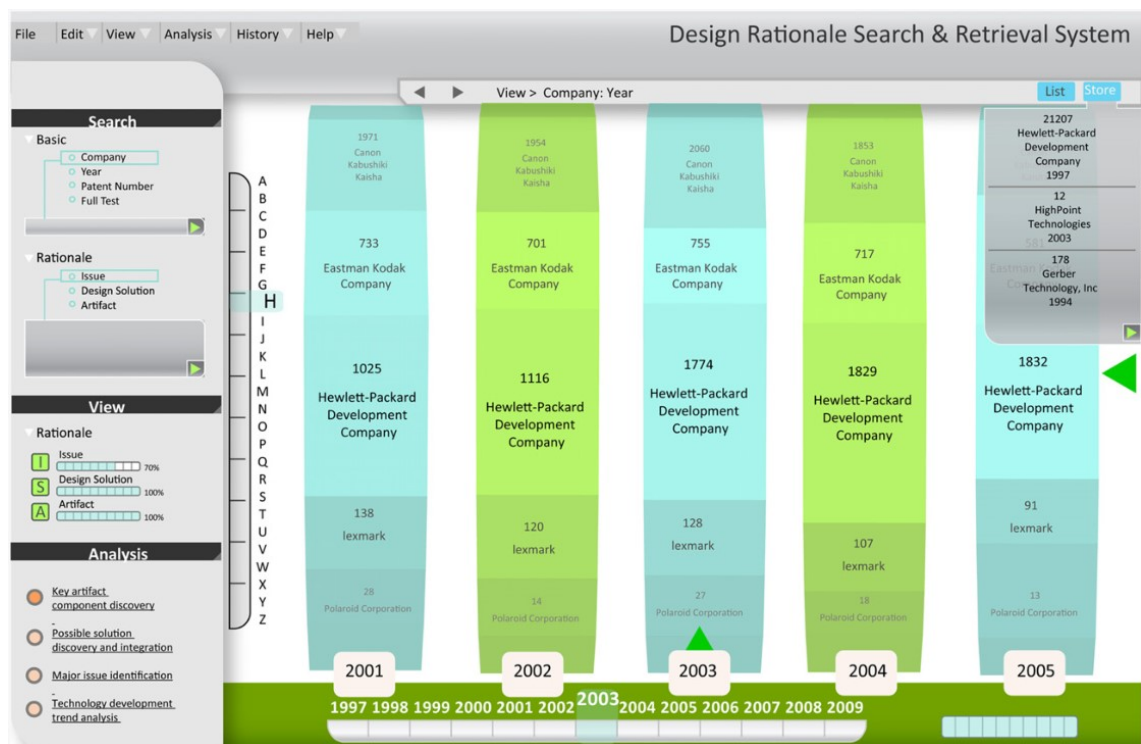
Dred on suunnittelutiedon esittämiseen ja tallentamiseen keskittynyt sovellus. Tiedonkäsitteily perustuu ajatuskarttoihin, joita täydennetään ennaltamääritetyillä tietolaatikkotyypeillä. Tietolaatikkotyypit ovat IBIS-järjestelmän mukaisia, mutta tietolaatikkoihin on lisätty värikoodaus, joilla voi nopeasti ilmaista argumentti-, kysymys-, tai ongelmaelementin.

tin tilaa. Tällöin ratkaistut ongelmat pystytään erottamaan nopeasti ja ratkaisuun perusteena toimivat argumentit ovat nopeasti löydettävissä. Ongelman voi merkitä myös mahdolltomaksi ratkaista. Argumenttielementit ovat joko puolesta tai vastaan ja voivat sisältää tekstinpätkiä sekä kuvia. Yksittäisen kuvaajan elementteihin on mahdollista linkittää toisia kuvaajia, joissa esitetään kyseessä oleva ratkaisu tai argumentti tarkemmin. Lopuksi ohjelmassa on tarkistustoiminto, joka tarkistaa, että hyväksytyissä vastauksissa on vasta-argumenttien lisäksi positiivisia argumentteja, sekä muita vastaavia virheitä. Ohjelma kertoo käyttäjille löytämistään virheistä ja kertoo, miksi elementti on todettu virheelliseksi. (Bracewell et al. 2009)

Query models	Retrieval Results				
 (a)	Enlarged similar reusable subparts				
	Global 3D CAD models with auto-highlighted similar reusable subparts				
		1-Simil:96.4%	2-Simil:95.1%	3-Simil:86.4%	4-Simil:77.1% 5-Simil:76.9%
 (b)	Enlarged similar reusable subpartss				
	Global 3D CAD models with auto-highlighted similar reusable subparts				
		1-Simil:90.7%	2-Simil:86.6%	3-Simil:86.6%	4-Simil:85.0% 5-Simil:76.9%
 (c)	Enlarged similar reusable subparts				
	Global 3D CAD models with auto-highlighted similar reusable subparts				
		1-Simil:94.8%	2-Simil:93.2%	3-Simil:93.2%	4-Simil:91.9% 5-Simil:91.4%

Kuva 6: CAD-mallien piirteiden hakua tietokannasta kolmella esimerkillä (Bai et al. 2010)

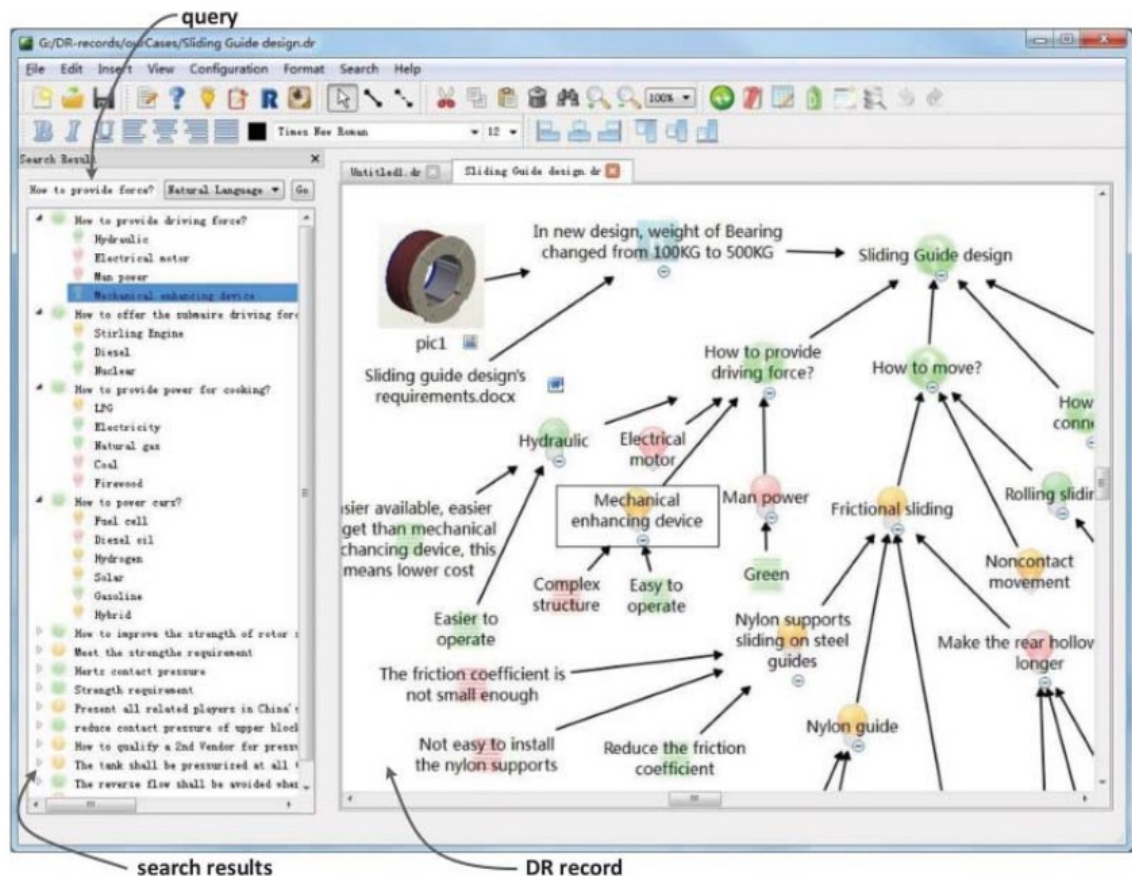
CAD-mallien piirteiden uudelleenkäyttö on käyttäjän kannalta yksinkertaisimpia tapoja hyödyntää valmista suunnittelutietoa. Menetelmässä uudelleenkäytettävät 3d-mallit pilkotaan malleihin sekä mallien alaosiin, erilaisten kaavioiden avulla. Malleista käsitellään pois erilaiset turhat piirteet, kuten pyöristykset ja mallien osat jaetaan siten uudelleenkäytettäviin osiin. Uudelleenkäytön yhteydessä syötetään järjestelmään hakusanaiksi malli, jota ollaan käsittelemässä tai joka muistuttaa piirrettä, jota ollaan mallintamassa. Järjestelmä analysoi mallin ja vertaa näin syntynyttä mallin piirrepuuta tietokannoissa oleviin muihin puihin. Haun laajuuteen ja tarkkuuteen pystyy vaikuttamaan hakumääreillä halutun lopputuloksen mukaan. Haun avulla saatua mallia voidaan sitten hyödyntää suunnittelun apuvälineenä. (Bai et al. 2010)



Kuva 7: Esimerkkikäyttöliittymä suunnittelutiedon hakutoimintoja varten (Liang et al. 2012)

Suunnittelutietoa ja dokumentaatiota kertyy projektien ja ajan myötä runsaasti. Algoritmi-pohjaisella tekstin käsittely ja indeksointi menetelmällä voidaan lajitella ja esittää tietoa tehokkaasti. Menetelmä perustuu ISAL-malliin ja on toiminnaltaan kaksiosainen. Ensin algoritmit käyvät läpi tietoa, jota on jo tallennettuna tietojärjestelmiin. Sitten tietoa lajitellaan, indeksoidaan ja linkitetään tietokantaan myöhempää käyttöä varten. Järjestelmä tunnistaa lauserakenteiden ja esiintymistiheyksien perusteella ongelmia, erilaisia ratkaisuja ongelmille sekä erilaisia artefakteja. Suunnittelijan hakiessa tietoa järjestelmästä

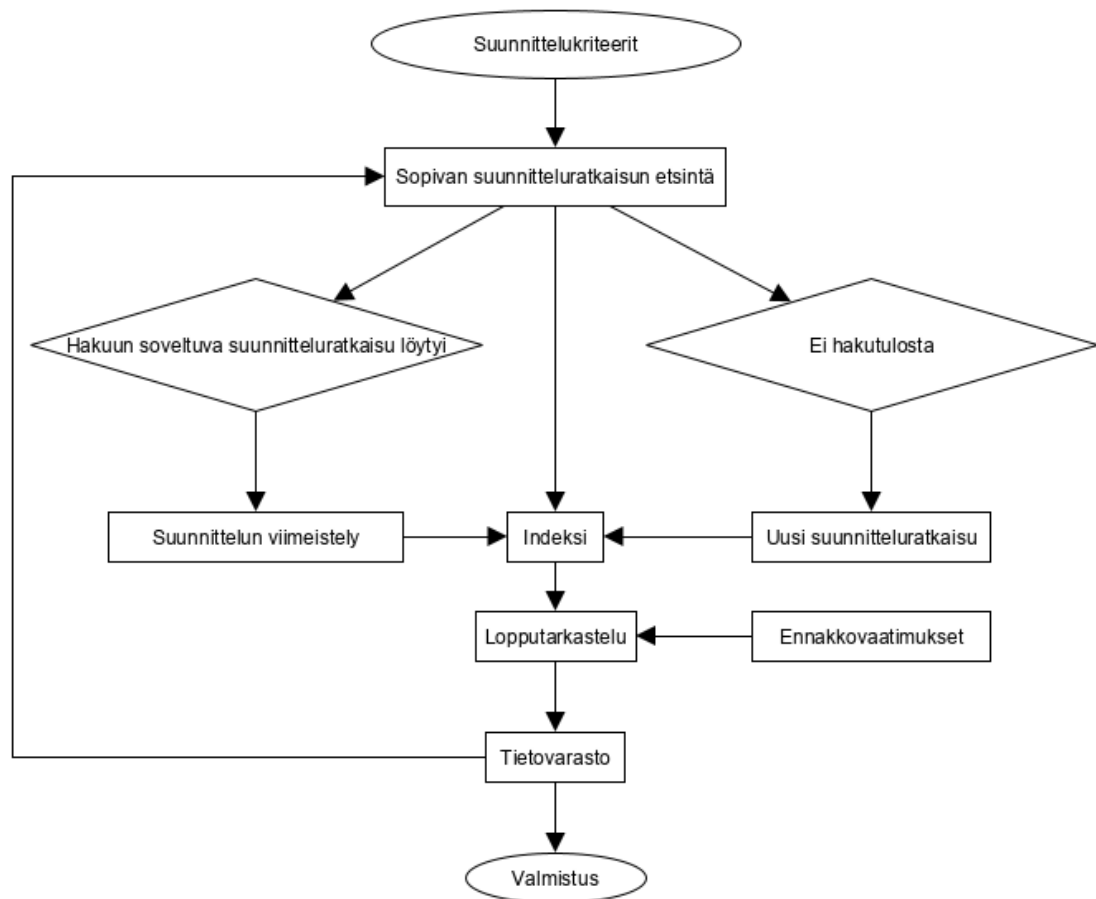
järjestelmä luo ajatuskaavioita hakusanojen, hakuparametrien, sekä tallennetun suunnittelutiedon perusteella. Järjestelmän toimivuutta on testattu laajalla patenttitietokannalla (18 290 dokumenttia). Järjestelmä toimi hyvin verrokkiryhmään verrattuna. Järjestelmä ei ole vielä valmis tuote ja vaatii melko yksiselitteisiä dokumenttirakenteita tehokkaan toiminnan takaamiseksi. (Liang et al. 2012)



Kuva 8: Tiedonhakua suunnittelutiedoista (DR record) selkokielisellä hakusanalla (query) (Li et al. 2014)

Suunnittelutietoa voi käsitellä tietokoneilla myös argumentaatio pohjaisesti. Laajennettuun IBIS-järjestelmään perustuva ontologinen tiedonhakujärjestelmä keskittyy tiedon hakuvaiheeseen. Ensin suunnittelutietojärjestelmissä oleva tieto järjestellään helposti käytettävään muotoon. Seuraavaksi järjestelmä lisää tietokantaan säännönmukaisia argumentteja ja linkkejä. Tämä luo suunnittelutiedosta selkeästi eroteltavia objekteja. Tämä jälkeen tietokantaa käydään läpi suunnitteluperustelujen avulla. Suunnitteluperustelujen avulla suunnitteluobjekteihin liitetään tyyppisiä ominaisuuksia, sekä linkkejä muihin suunnitteluobjekteihin. Sitten tietoon liitetään tietoa suunnittelijoista, tiedostonimistä, luontipäivämäärästä sekä mahdollisista muokkauksista. Lopuksi tieto indeksoidaan ja

tallennetaan myöhempää käyttöä varten. Hakuvaiheessa tietoa voidaan hakea kolmella tavalla. Tapoja ovat perinteinen hakusanan käyttö, mikä etsii hakusanan perusteella parhaiten osuvia ratkaisuja. Luonnollinen tiedonhaku, mikä määrittelee hakuparametreja pääasiassa haussa käytetyn kysymyssanan avulla. Lopuksi on suunnitteludokumentin perusteella tehty haku, mikä etsii samankaltaisia dokumentteja haussa käytettyyn dokumenttiin nähden. (Li et al. 2014)



Kuva 9: Yritysmuistijärjestelmän toiminta vuokaaviona (mukaillen Gunduz & Yetisir 2018)

Suunnittelutietoa voidaan arvioida tarkkojen kriteerien perusteella. Automatisoidun yritys-
muistijärjestelmän käyttö alkaa hakuprosessista. Suunnittelija syöttää järjestelmään hakukriteerejä ja toleranssialueita, joiden avulla järjestelmä hakee kriteerit täyttäviä artefakteja. Hakutulosten tarkastusvaiheessa järjestelmä näyttää tietoa yksittäisten artefaktien suunnittelukriteereistä, merkintöjä kappaleeseen tehdyistä muutoksista ja kehityksestä, sekä fyysisiin mittoihin ja muotoon liittyvistä ominaisuuksista. Jos vanhaa arte-

faktia kehitetään tai luodaan uusia artefakteja, järjestelmä syöttää suunnittelukriteerit tietokantaan sekä luo indeksinumeron, jonka avulla löytyy kaikki artefaktiin liittyvä tieto ja tiedostot. Ennen kuin tieto arkistoidaan, tarkistusjärjestelmä käy toteutuneet kriteerit läpi ja tarkistaa, että tuote ei ole huonompi kuin vanha ratkaisu. Tarkistusjärjestelmä myös vertaa projektia aiempiin samantyyppisiin projekteihin, jolloin suunnittelija voi arvioida, suunnittelutiedon hyvyttä. Hakuvaiheessa on kaksi tilaa halutun hakutuloksen löytymiseksi. Ensimmäinen tila vertailee suunnittelussa käytettyjä kriteerejä ja parametrejä jo olemassa oleviin artefakteihin, Toinen tapa hakea tietoa on syöttää hakuun parametri ja haluttu tapa rajoittaa parametria. Tarkoitus on rajata hakutuloksia erityisesti tilanteissa, joissa jokin tietty parametrivalinta suunnitelmassa rajoittaa valintoja toisen parametrin suhteen. Hakutuloksia voidaan vertailla keskenään taulukoisuilla ominaisuuksilla. Taulukkoa voi järjestää eri parametrien suhteen, mikä mahdollistaa parametrien erilaisen painottamisen toistensa suhteen. Ohjelma tukee lisäosia käyttäjäkohtaista muokkausta varten. (Gunduz & Yetisir 2018)

Taulukko 1: Tiedonhallintametodien ominaisuuksien vertailua

Metodi	Teoreettinen pohjamalli	Tiedonhallintajärjestelmän tarve	Automatisoitu tiedon indeksointi hakua varten	Käytännön toimivuus	Muita huomioita
Desperado II (Ball et al. 2001)	QOC	Ei	Kyllä	Toimiva ohjelmisto. Käytössä insinööritoimistossa.	Ohjelmisto varsin vanha ja keskittynyt suunnitteluperusteluiden dokumentointiin.
Kuaba metodi (de Medeiros & Schwabe 2008)	Kuaba	Kyllä	Ei	Toiminta selitetty teoriata-solla	Suunnattu pääasiassa ohjelmistotekniikan tarpeisiin. On myös ehdotetulta toiminnaltaan varsin rajoitettu.
DRed (Bracewell et al. 2009)	IBIS	Ei	Ei	Toimiva ohjelmisto Kehitetty Rolls Roycen tarpeisiin	Ei erillisiä hakutoimintoja tiedon jälkikäsitteilyä varten.

CAD-mallien osien uudelleenkäyttöjärjestelmä (Bai et al. 2010)	Ei nimetty, hyödyntää piirrepohjaisia CAD-malleja rakenteen kuvaamiseen ja osien etsintään	Kyllä	Kyllä	Toimiva prototyyppi	Testattu 475 mallin tietokannalla, missä 3560 suunnittelupiirrettä. Suunnittelupiirteiden pohjalta ohjelma loi 756 uudelleenkäytettävää osaa.
Algoritmiperusteinen suunnittelutiedon haku ja prosessointijärjestelmä (Liang et al. 2012)	ISAL	Kyllä	Kyllä	Hyvin toimiva prototyyppi Testattu patenttietietokannoilla ja verrattu indeksointia ohjelman ja ihmisen välillä.	Toimii myös laajoilla tietokannoilla ja tarjoaa monia eri lajitteualgoritmeja ja hakutoimintoja
Ontologiaperusteinen suunnittelutiedon hakujärjestelmä (Li et al. 2014)	Laajennettu IBIS	Kyllä	Kyllä	Tarjoaa useita hakuvaihtoehtoja	Vaatii oman serverijärjestelmän indeksointia varten. Toiminta todettu kuuden tiedoston tietokannalla
Automatisoitu yritysmuistijärjestelmä (Gunduz & Yetisir 2018)	Ei mainittu	Kyllä	Kyllä	Toimiva prototyyppi	Suunnittelua arvioidaan taulukkopohjaisella parametri ja toleranssimetodilla

Taulukkoon on kerätty tietoja kaikista tiedonkäsittelymetodeista. Metodi kohdassa on nimetty ohjelma joko virallisella nimellä tai lyhyellä kuvauksella metodin päätoimintaperiaatteesta. Lisäksi on kerrottu metodin lähdedokumentti. Teoreettinen pohjamalli kohdassa kuvataan metodin tapaa lajitella ja esittää suunnittelutietoa. Tiedonhallintajärjestelmän tarve -kohdassa kerrotaan, vaatiiko metodin käyttö omia tietojärjestelmiä taustalle tiedon varastointijärjestelmien rinnalle. Automatisoitu indeksointi kohta kertoo, lajitteleeko metodi suunnittelutiedon nopeaa hakutoimintoa varten. Käytännön toimivuutta on arvioitu lähdedokumenttien esimerkkien ja toiminnankuvausten perusteella. Kohdassa on mainittu myös mahdollinen perustelu toimivuudelle. Muita huomioita kohdassa

on huomioita metodien toiminnasta, jotka ovat merkittäviä toimivuuden arvioinnin kannalta, ja jotka eivät suoraan sopineet muihin kohtiin taulukossa.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Suunnittelun uusiokäyttöä hyödynnetään monilla eritavoilla ja eri tilanteissa. Suurimman hyötyvaikutuksen saavuttamiseksi uudelleenkäytön keinoja laajuutta tulee rajata ja kohdentaa projektin tai sovelluskohteen mukaan. (Ettlie & Kubarek 2008) Suurimmat tiedon uusiokäytöstä saatavat hyödyt esiintyvät tiedon etsinnässä, dokumentoinnissa sekä esittämisessä. Suunnittelutiedon uusiokäyttö tuo mukanaan myös ongelmia. Tietojärjestelmien toiminnan takaamiseksi on käytettävä huomattavat määrät aikaa ja rahaa. Uusiokäyttö tuo mukanaan myös sosiaalisiin rakenteisiin liittyviä ongelmia (Zhang & Li 2016). Yksittäiset järjestelmät soveltuvat erilaisiin projekteihin. Pitkäaikaisessa käytössä on myös huomioitava ajan kulumisen mukanaan tuomat haasteet ja vaatimukset (Brunsman & Wilkes 2009).

Suunnittelutiedon uusiokäyttöä varten on kehitetty monia sovelluksia, mutta työkalut ovat käytännön toimivuudeltaan varsin rajallisia tai keskeneräisiä. Sagen ja Armstrongin (2000) mukaan suurin osa ratkaisuita ei ota kantaa siihen, miten tiedonhallintaratkaisuja tulisi hyödyntää. Monissa uudemmissa lähteissä esitettyjä tietojärjestelmiä on testattu ja esitetty realistisilla materiaaleilla, mutta kokonaistoiminta ratkaisuissa on usein hyvin tarkasti rajattua, kuten DRed tai varsinainen ohjelmisto on enemmänkin edistynyt testiversio, kuin varsinainen tuote.

Suunnittelutiedon uudelleenkäytön suurimpia hyötyjä on suunnittelun alkuvaiheessa konseptoinnin nopeutuminen. Ideoille löytyy nopeasti pohja-ajatus, jota on helppo lähteä kehittämään tai muokkaamaan kyseiseen sovellukseen paremmin toimivaksi. Suunnittelutiedon uudelleenkäyttö mahdollistaa suunnittelutyön tehokkuuden paremman arvioinnin, kun mahdollisista ongelmakohtista saadaan tietoa heti suunnitteluprosessin alkuvaiheessa. Tällöin suunnittelijan työtä voidaan ohjata tehokkaammin suunnittelutyön ongelmakohtiin, mikä helpottaa suunnittelutyön tehokkuuden arviointia (Sage & Armstrong 2000 s. 504 – 505).

Suunnittelutiedon uudelleenkäytön suurimpia ongelmia on ratkaisutyyppien standardoituminen. Samantyyppiset ongelmat ratkaistaan samoilla tavoilla tai jopa samoilla alikoonpanoilla ja uusia innovaatioita ei välttämättä synny yhtä paljon, kuin tilanteissa, joissa erillistä suunnittelutiedon uusiokäyttöjärjestelmää ei ole käytössä. Suunnitteluratkaisut ajautuvat modulaarisempaan suuntaan, mikä ei ole käyttötarkoituksen kannalta niin tehokasta, kuin kohteelle erikseen suunnitellut ratkaisut (Ettlie & Kubarek 2008). Uu-

siokäyttöjärjestelmien tehokas ja oikeaoppinen käyttö vaatii kaikilta järjestelmää hyödyntäviltä osapuolilta tuntemusta järjestelmän toiminnasta, mikä lisää tarvittavan koulutuksen määrää uusille työntekijöille (Ball et al. 2001). Tietojärjestelmien käyttö vaatii myös huomattavan määrän aikaa, mitä ei aina ole suunnittelijoilla kovin paljoa saatavilla.

Isomman yksittäisen tuotteen käsittelyyn soveltuu parhaiten DRed tai Desperado II yhdistettynä automatisoituun yritysmuistijärjestelmään. Isoissa projekteissa ei useimmiten ole saatavilla tietoa kaikkien ratkaisujen käytännön toiminnasta, jolloin isommat ratkaisut pitää perustamaan yksinkertaiseen analyysiin eri ratkaisujen hyödyistä ja haitoista. Toisaalta yksittäisten komponenttien kohdalla on hyödyllistä hyödyntää samaa komponenttia useassa kohdassa, jolloin yritysmuistin kaltainen raaka ominaisuuksien analysointi paljastaa suurimman osan mahdollisuuksista suunnittelutiedon uusiokäyttöön.

Kokonaisia tuoteperheitä suunniteltaessa tehokkaimpia työkaluja ovat CAD-mallien piirteiden uudelleenkäyttöjärjestelmä, sekä suunnittelutiedon automatisoitu hakuja käsitteilyjärjestelmä. Tuoteperhettä suunnitellessa tärkeimpiä ominaisuuksia ovat osien yhteensopivuus, mihin helpoimpia keinoja on piirteiden ja mittojen kopiointi osasta toiseen, sekä osien toiminnallisuuksien selkeys. Tuoteperheen toiminnan kannalta on tärkeää tietää, mitä mikäkin yksittäinen osa tekee ja miksi juuri kyseiset rajoitukset on valittu. Monimutkaisissa yhteistyötä tekevissä järjestelmissä on monia mahdollisuuksia aiheuttaa ongelmia, joiden syytä on vaikea selvittää. Tietokonepohjainen tiedonkäsittely tehostaa tiedon etsintää erityisesti erikoisten vikojen ja yhteensopivuusongelmien yhteydessä.

Yksittäisen massatuotteen tuotekehityksessä hyötyä on eniten CAD mallien piirteiden kopiaimisesta ja siirtämisestä, DRed tyylisestä suunnitteluperusteiden esittämisestä, sekä erilaisesta suunnitteludatan analysointi ja haku työkaluista. Massatuotteita tehdään paljon, jolloin pienetkin virheet ovat kustannuksiltaan merkittävät. Toisaalta suunnittelu- ja käyttötietoa on paljon saatavilla tuotekehitystilanteissa, joissa kehitetään vanhasta tuotteesta uudempaa versiota. Kaikki saatavilla oleva tieto tulisi käsitellä ja esittää mahdollisimman selkeällä tavalla suunnittelun onnistumisen takaamiseksi. Tietokoneet analysoivat tietoa systemaattisesti, mikä takaa sen, että kaikki tieto käydään tasapuolisemmin läpi muutoksista ja parannuksista päätettäessä.

Tilanteissa, joissa sama suunnitteluryhmä suunnittelee seita, käyttötarkoitukseltaan erilaisia tuotteita, kuten insinööritoimiston suunnitteluryhmät, tietoa olisi hyvä käsitellä CAD mallien piirteitä kierrättämällä, analysoimalla suunnitteludokumentaatiota ontologisin, sekä semanttisin keinoin, että esittämällä suunnitteluratkaisuja erilaisina vuokaavioina nopean kokonaiskuvan hahmotuksen mahdollistamiseksi. Vaihtelevien suunnittelutehtä-

vien tilanteissa on usein vaikea analysoida tarkasti kaikkea saatavilla olevaa tietoa, jolloin hyvät tietokantatyökalut ovat eduksi. Toisaalta artefaktien vaatimukset poikkeavat merkittävästi toisistaan, jolloin tarkkojen vertailuominaisuuksien määrittäminen on hankalaa. Toisaalta toiminnaltaan vastaavanlaisten osien suunnitteluperusteluiden tarkastelu on suunnittelutyön yhteydessä erittäin hyödyllisistä mahdollisten vaatimusmäärittelujen luomiseksi.

Tiedon pitkäaikaiseen tallennukseen parhaita järjestelmiä ovat tietoa käsittelevät järjestelmät. Tieto voidaan tallentaa projekti tai tuotekohtaisiin tiedostorakenteisiin, joista tieto on selkeästi ja nopeasti löydettävissä yksittäistä tuotetta tarkastellessa. Toisaalta tieto on myös indeksoinnin ansiosta nopeasti löydettävissä myös silloin kun tiedon tarkkaa sijaintia ei tiedetä. Ohjelmistoilla on myös mahdollista siirtää suunnittelutietoa esitysjärjestelmästä toiseen suhteellisen nopeasti silloin kun tieto on tallennettuna järjestelmällisesti esitetyssä tietokannassa.

LÄHTEET

Bai, J., Gao, S., Tang, W., Liu, Y. & Guo, S. 2010, "Design reuse oriented partial retrieval of CAD models", *Computer-Aided Design*, vol. 42, no. 12, pp. 1069-1084.

Ball, L.J., Lambell, N.J., Ormerod, T.C., Slavin, S. & Mariani, J.A. 2001, "Representing design rationale to support innovative design reuse: a minimalist approach", *Automation in Construction*, vol. 10, no. 6, pp. 663-674.

Bracewell, R., Wallace, K., Moss, M. & Knott, D. 2009, "Capturing design rationale", *Computer-Aided Design*, vol. 41, no. 3, pp. 173-186.

Brunsmann, J. & Wilkes, W. 2009, "Enabling Product Design Reuse by Long-term Preservation of Engineering Knowledge", *International Journal of Digital Curation*, vol. 4, no. 3, pp. 17-28.

de Medeiros, A.P. & Schwabe, D. 2008, "Kuaba approach: Integrating formal semantics and design rationale representation to support design reuse", *AI EDAM*, vol. 22, no. 4, pp. 399-419.

Ettlie, J.E. & Kubarek, M. 2008, "Design Reuse in Manufacturing and Services", *Journal of Product Innovation Management*, vol. 25, no. 5, pp. 457-472.

Gunduz, M. & Yetisir, T. 2018, "A design reuse technology to increase productivity through automated corporate memory system", *Neural Computing and Applications*, vol. 29, no. 9, pp. 609-617.

Kunz, W. & Rittel, H.W. 1970, *Issues as elements of information systems*, Working paper 131 edn, Center for Planning and Development Research, University of California, Berkeley.

Li, L., Qin, F., Gao, S. & Liu, Y. 2014, "An approach for design rationale retrieval using ontology-aided indexing", *Journal of Engineering Design*, vol. 25, no. 7-9, pp. 259-279.

Liang, Y., Liu, Y., Kwong, C.K. & Lee, W.B. 2012, "Learning the "whys": Discovering design rationale using text mining - An algorithm perspective", *CAD Computer Aided Design*, vol. 44, no. 10, pp. 916-930.

MacLean, A., Young, R.M., Bellotti, V.M.E. & Moran, T.P. 1991, "Questions, Options, and Criteria: Elements of Design Space Analysis", *Human-Computer Interaction*, vol. 6, no. 3-4, pp. 201-250.

Sage, A.P. & Armstrong, J.E.J. 2000, "6.5. Human and Cognitive Factors in Systems Engineering and Systems Management" in *Introduction to Systems Engineering* John Wiley & Sons, , pp. 502-519.

Zhang, L. & Li, X. 2016, "How to reduce the negative impacts of knowledge heterogeneity in engineering design team: Exploring the role of knowledge reuse", *International Journal of Project Management*, vol. 34, no. 7, pp. 1138-1149.